

PTO 04-1872

CY=FR DATE=1930402 KIND=A1
PN=2 681 947

PROCESS OF AUTOMATIC CLASSIFICATION OF DEFECTS ON MICROCIRCUITS
[PROCEDE DE CLASSIFICATION AUTOMATIQUE SUR DES MICROCIRCUITS]

JEAN CASSINO, et al.

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE
Washington, D.C. February 2004

Translated by: FLS, Inc.

PUBLICATION COUNTRY	(10): FR
DOCUMENT NUMBER	(11): 2 266 091
DOCUMENT KIND	(12): A1
PUBLICATION DATE	(43): 19930402
APPLICATION NUMBER	(21): 91 12052
APPLICATION DATE	(22): 19911001
INTERNATIONAL CLASSIFICATION	(51): G01R 31/308
PRIORITY COUNTRY	(33): NA
PRIORITY NUMBER	(31): NA
PRIORITY DATE	(32): NA
INVENTORS	(72): Jean Cassino and Maciej Oteski
APPLICANT	(71): MICRO-CONTROLE SOCIETE ANONYME
TITLE	(54): PROCESS OF AUTOMATIC CLASSIFICATION OF DEFECTS ON MICROCIRCUITS
FOREIGN TITLE	[54A]: PROCEDE DE CLASSIFICATION AUTOMATIQUE DE DEFAULTS SUR DES MICROCIRCUITS

The present invention concerns in a general way the inspection /1* of microcircuits, in a final or intermediate state of fabrication, in order to identify the repeated or accidental defects by comparison between zones of the microcircuit and either corresponding zones of a microcircuit free of defect and which in principle ought to be identical, or with information memorized in numerical form.

Numerous microcircuit inspection processes and devices are already known. In particular, a description of a device that may be considered as representative may be found in US Patent 4 559 603 (Tokyo Shibaura Denki KK). Such a device contains, as a general rule, a table making it possible to determine with great precision the position of the microcircuit with respect to an image-forming lens and to measure the motions of the microcircuit in its plane. The lens is associated with a matrix camera providing the image of a zone of the microcircuit in the form of a pixel matrix. Finally, the output signal of the camera is either utilized in lines by a processor, or memorized for treatments outside of lines, or remote transferred by a communication network. Microcircuits being very sensitive to contamination, the device is, as a rule, provided with a robotic system, avoiding any manual intervention.

In particular, the machine sold under the name "ALARM" by the applying company, the essential optical and mechanical characteristics of which are given in document WO 90/06 489 (corresponding to the application FR 88/15 902) to which reference may be made, may be cited

*Numbers in margin indicate pagination in the foreign text.

as a device capable of performing all the operations indicated above.

In particular, this document describes signal processing means /2 furnished by a camera that permits determination of the width of a microcircuit line having a submicronic dimension and the amount of coating between two layers having the same order of magnitude.

In order to reduce the rate of rejection, it is important to go beyond the simple detection of defects and to identify the nature of these defects, which also makes it possible to determine their origin and to modify the manufacturing process. Circuit inspection processes with automatic classification of defects has already been proposed. Generally, the classification is made with a decision tree, each decision being made in binary logic. A description of such a process will be found in the article by Dralla et al. "automatic Classification of Defects in Semi-Conductor Devices," SPIE, Vol. 1261, (1990) pp. 173-182. Unfortunately, this approach is not very reliable and leads to a high error rate or to ignoring a class of numerous anomalies of the image.

The present invention is intended to furnish a method and device for automatic detection of defects of microcircuits, by classification, better responding to actual exigencies than those known previously, in particular in that they permit better discrimination.

For this purpose, the invention proposes, in particular, a process of automatic identification of defects in a specific zone of a microcircuit, according to which, successively and in an automatic

fashion: an image consisting of a matrix of pixels, each one associated with at least one number representative of a photometric value of the pixel, such as the average brightness or gray level, is formed from a specific area to be verified; the photometric values of the pixels of the zone are compared with the respective reference values for detecting the anomalies; several predetermined parameters /3 at least representative of the spatial extent, the shape, and photometric appearance of the anomaly are calculated automatically; after having defined several classes of defects in the course of an initial phase, each by a set of weighting factors, several weighted sums of said representative factors are calculated, for all of the sets of weighting coefficients; and the defect is assigned to the class for which the sum is the highest.

Thus, a classification logic that may be called soft or non-classic, in comparison with the hard decision that a classic binary logic gives, is used.

It is seen that using the method in practice implies a phase of defect inspection and identification.

The preliminary phase constitutes and apprenticeship: the user of the method will define the task to be performed by indicating zones to be inspected on the microcircuit, reference zones, and the treatment method to be used. The user also will memorize the types of defects to be identified, and will give the corresponding weighting factors, certain weighting factors that may be null since certain representative parameters calculated are not appropriate for the

identification of certain defects.

The invention also proposes a device permitting the use of the method defined above, including also mechanical and opto-electronic sub-assemblies that may be of the type described in the document WO 90/06 489, a processor making it possible to determine the representative parameters, calculating the weighted sums, and comparing them with each other.

As all of the processes of identification by classification, the one that is described above utilizes a calculation of probabilities not giving absolute certainty. In order to avoid erroneous /4 associations, it is possible to verify that the highest weighted sum is greater than a predetermined minimum value. If the sum is too small, the defect may be considered as not identified. In addition, several weighted sums may have very close values and the selection of the definitive class among several then may be made by the user.

The invention will be better understood by reading the following description of a specific embodiment of the invention, given as a non-limiting example. The description refers to the accompanying drawings, in which:

- Fig. 1 is a basic diagram showing the principle components of a device making it possible to use the invention;

- Fig. 2 shows two corresponding zones of a reference microcircuit (on the left) and a microcircuit to be inspected (on the right);

- Fig.3 shows, in large scale, a representation of a defect,

intended to show examples of representative parameters; and

- Fig. 4 shows an example of a gray level variation along a line of pixels crossing a dark defect against a light background (dashed line) compared to the variation in case of absence of a defect (solid curve).

The device of which the basic structure is shown in Fig. 1 may be regarded as including a mechanism 10 for moving a semi-conductor chip 12 bearing microcircuits in two orthogonal directions x and t . This mechanism, which may consist of a transverse motion table, is associated with a module for movement in the directions x and y and for measuring position.

An opto-electronic system makes it possible to form, in a matrix detector 16 that may be a CCD camera, the image of the zone to be /5 inspected of a microcircuit found on the chip 12. This matrix detector is associated with means of numerization and memorization, making it possible to represent each pixel of the image of the zone by at least one photometric value, such as the reflectivity. It is often preferable to measure the photometric value for several lights of different wave length, which also makes it possible to characterize the possible anomalies from the spectral point of view.

In the case illustrated in Fig. 1, the characteristics of the same zone on a microcircuit free of defect are stored in a memory 20. A processor 22 makes it possible, by comparison between the corresponding pixel characteristics, to determine the possible anomalies. The ideal characteristics may be introduced into the

memory 20, for example by means of an ordinary information entering device (for example, keyboard 24) or by preliminary measures performed on a microcircuit lacking a defect. Finally, a processor 26 makes it possible to calculate the parameters representative of the spatial extent (length: and width l , surface S), the shape, photometric appearance, and possibly other characteristics of each anomaly 30 given for comparison, then to assign the anomalies to defect classes, and to memorize them in a file, and/or to display them, for example on a monitor 28 that also may be used to furnish an image of the zone observed.

A certain number of terms that will be used below will be defined before describing in detail a process in accordance with the invention.

Here:

- gray level means the photometric value, such that the brightness or the average reflectance, of a pixel of the image numbered and memorized at 18;
- dynamic d of the image in a zone or a defect means the difference between the maximum value and the minimum value of the gray level of the pixels of this zone or of the defect;
- preliminary transformation, means any transformation performed /6 automatically in the course of the process and making it possible, on the basis of the gray levels of the pixels and a comparison, to obtain a parameter participating in the identification of a defect (for example the surface S of a defect 30 consisting of the number of

pixels concerned and the rate of filling τ , ratio between S and the product $L \times l$ of the length and the width of the circumscribed rectangle);

- analysis criteria means the set or group of representative parameters of an anomaly intervening in the probability calculation permitting the classification (surface S , rate of filling τ , ...), a criterion being called "defined", when the typical values of parameters have been defined;

- characteristic value means the conditional probability that a defect satisfies a predetermined criterion;

- in one class of defects, a specific analysis criterion indicates the track, that is, the probability of the presence of a characteristic given in the defect;

- class means a category of defect fulfilling a predetermined analysis criterion; for example, short-circuits, the presence of dust, problems not having an effect on the electric operations, etc.... may be considered as classes;

- operator judgment means assignment by an operator to a class designated by any symbol such as a number of a type of defect during an inspection phase, after a first examination.

Use of the invention implies that any anomaly is first revealed, then described by data sufficient to define it.

In general, it is also necessary to predetermine the zones in which defects are subject to being found and the corresponding reference, or model, zone.

The zones to be inspected are indicated by the user at the /7
beginning of an apprenticeship phase, that will be mentioned below. At
the time of inspection of a microcircuit, a preliminary alignment
process, of the type already described in the documents mentioned
above, makes it possible to make each zone of the present microcircuit
to be verified correspond to the appropriate reference zone.
Moreover, the user can indicate reference microcircuit zones
representative of a given type of surface (substrate, oxide, nitride,
metal coating, etc....). The average gray level in these zones is
measured so as to constitute a reference. In fact, the reflectivity
and other characteristics may change from one microcircuit to another
and it is useful to perform a comparative measure making it possible
to perform a correction on of the gross photometric values of the
pixels, permitting a reliable comparison between pixels of the image
of the microcircuit to be inspected and the image of the reference
microcircuit.

As has already been indicated, the description data of a circuit
refer to its geometric aspect and its photometric aspect.

The data concerning its geometric aspect in particular may be the
position of the anomaly in the image, which gives a first indication
of the nature of the defects subject to be found, the length L and the
width l of the defect, the surface S of the defect: all these data may
be obtained by comparison and calculation, that is, by pre-processing.

In particular, the data of photometric nature may be the
following.

- The gray level of the pixel of the model image and that of the image comprising the defect, in the zone of the anomaly where the difference of photometric value between the image containing the anomaly and the reference image is the greater.

- the dynamics of the image containing the anomaly in the zone of the anomaly, defined as the difference \underline{d} between the maximum /8 value and the minimum value (Fig. 4) and that of the model image.

These data may be collected for one or more wave lengths, the values of which also consist of characteristic data.

Once the inspection of a zone has been made, and the preprocessing of the measurement data has been performed, the probability of a given anomaly belonging to one of the defect classes, each identified by an analysis criterion, may be calculated.

The probability P of an anomaly \underline{a} belonging to a defect class \underline{c} may be described in the form:

$$P(a,c) = \frac{1}{N} * \sum_i \frac{A(i,c) * Ptr(a,i)}{A(i,c)} \quad (1)$$

where:

$A(i, c)$ is the weighting factor for the analysis criterion \underline{i} and the class \underline{c} ,

Ptr is the characteristic value of the criterion \underline{i} for the anomaly \underline{a} , that is, the value that the criterion \underline{i} has in the zone of the anomaly,

N is a normalization factor equal to the number of criteria

considered for the possible assignment to class c.

In performing the same calculation with all the sets of weighting factors, each set corresponding to a predefined class, probabilities P of the anomaly A belonging to a defect class is obtained. The probabilities then are ranked in decreasing order. After verification that the highest probability exceeds a predetermined level and that the difference includes the calculated and significant probabilities, the anomaly may be assigned to a defect class.

The successive phases of the process that in practice makes it /9 possible to arrive at the classification that has just been defined will now be described.

The classification implies a first phase of apprenticeship, that itself may be considered as including a phase of preparation in the course of which the user defines the task to be accomplished, that may depend on the nature of the circuit and the state of progress of its fabrication and a definition of the identification criteria, then a phase of operation.

Apprenticeship phase

In the course of the definition phase, the user defines the zones to be inspected in order to detect the defects, intended to permit the device to be positioned with respect to the microcircuit and to accept the significant parameters.

The information memorized in the course of this first step are, for example:

- the definition of the chip by its geometric characteristics and

of the line and positions to be inspected,

- analyses to be performed, subject to being different according to the zone (substrate, oxide layer, motif...),
- definition of possible alignment sites,
- definition of optical inspection conditions and measuring correction factors,
- definition of analysis parameters such as thresholds, spatial filtering, etc...

In the course of the definition of defect identification criteria, the user defines the list of defect classes and the correspondence between these classes and the analysis criteria, in particular such as the weighting factors and the characteristic values to be taken into consideration.

In the course of this second part of the apprenticeship, the /10
user can verify the validity of the criteria that he has chosen by testing the classification that he has retained on the defects revealed by a visual inspection and to assign by using the criteria that he has retained. Thus, it is possible to find, by a series of successive tests, the set of parameters that best identifies a class of a given defect.

Operating phase

During the last phase, the device:

- inspects the designated zones,
- classifies the anomalies found in order to assign them to defect classes by using the knowledge acquired during the

apprenticeship phase.

The two operations may be dissociated, the classification then being affected differently.

The fashion in which the optical measures are performed, being given that this part of the process may be the same as in the previously known processes, will not be described here.

The first operation in accordance with the invention consists of a preliminary transformation of the data collected, in the sense defined above. These preliminary transformations lead to obtaining identification parameters and analysis criteria, as defined above.

The calculation of the probability of each anomaly belonging to all the classes then is performed. Each characteristic value **P_{tr}** is a function of a specific entered datum, obtained in the course of the preliminary transformation and characteristics of the class. Examples of functions will be defined below.

Finally, once all of the characteristic values are obtained, the defect is assigned to the class for which the probability is the highest.

An embodiment of the invention corresponding to searching for /11 and identifying particular defects on the microcircuits found on a semiconductor chip will now be given in order to better explain the invention.

A preliminary inspection made on samples made it possible to identify the following classes of defects, each designated by an abbreviation that will be used again below.

- A particle (part) - representing the small particles arranged on the chip.

- Bubble (bull) - representing the substrate bubbles.

- Vertical inversion (invr) - representing the inclusion of the matter on the width of a motif.

- Large particle (grpr) - representing the particles of the dust polluting the chip, identified as a new class of defects.

The principle parameters retained for the identification are:

- the geometric parameters: width of the defect (larX), length of the defect (larY), surface of the defect (surf).

- the photometric parameters: brightness of the image with the defect in the zone of the defect (cr51) and dynamics of the image with the defect in the zone of the defect (cr52).

A verification makes it possible to show that, in the particular case envisaged, a defect of the type (grpr) has no characteristic value for the criteria:

- brightness of the model image within the zone of the defect (cr53),

- dynamics of the model image in the zone of the defect (cr5c).

A "characteristic value" is calculated for each defect by the following calculation function $pr(x)$ for the classification of the defects. The function in fact has a trapezoidal shape. It differs from zero where it is defined; it is otherwise null. /12

By way of example, it is possible to adopt the following criteria for different classes:

TABLE 1: "large particle"

criterion	criterion parameter			
	binf	cinf	csup	bsup
larX	6	10	200	500
larY	6	10	200	500
surf	30	100	10000	99999
cr51	10	20	50	60
cr52	0	10	20	30

Five anomalies have been detected on one chip and presented the following characteristics:

TABLE 2

anomalie	largeur	longueur	surface	image avec défaut		image sans défaut	
				brill.	dynam.	brill.	dyn.
1	143	76	1555	24	5	51	94
2	19	24	97	31	16	71	58
3	3	3	5	128	6	175	140
4	14	7	3	129	6	176	143
5	18	36	22	151	6	190	150

Key:

anomalie=anomaly

largeur=width

longueur=length

image avec défaut=image with defect

image sans défaut=image without defect

brill=bright

The calculation of the tracks then gave the following results /13
anomalies, considered as defects to be classified:

défaut #1							
classe	larX	larY	critère d'analyse		cr52	cr53	cr5c
			surf	cr51			
part	0.0	0.0	0.0				
grpr	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5		
bull			0.0	0.0			
invr	0.0	1.0					
inho	1.0	0.0					
défaut #2							
classe	larX	larY	critère d'analyse		cr52	cr53	cr5c
			surf	cr51			
part	0.0	0.0	0.0				
grpr	1.0	1.0	0.957	1.0	1.0		
bull			0.0	0.0			
invr	0.0	1.0					
inho	1.0	0.0					
défaut #3							
classe	larX	larY	critère d'analyse		cr52	cr53	cr5c
			surf	cr51			
part	0.75	0.75	1.0				
grpr	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6		
bull			1.0	0.0			
invr	1.0	0.0					
inho	0.0	1.0					
défaut #4							
classe	larX	larY	critère d'analyse		cr52	cr53	cr5c
			surf	cr51			
part	0.0	0.0	0.75				
grpr	1.0	0.25	0.0	0.0	0.6		
bull			0.6	0.0			
invr	0.0	1.0					
inho	1.0	1.0					
défaut #5							
classe	larX	larY	critère d'analyse		cr52	cr53	cr5c
			surf	cr51			
part	0.0	0.0	0.8				
grpr	1.0	1.0	0.0	0.0	0.6		
bull			0.933	0.0	0.0		
invr	0.0	1.0					
inho	1.0	0.0					

Key:

défaut class=defect class

critere d'analyse=analysis criterion

The application of the formula (1) above for the different classes then gives the following probabilities P:

/14

TABLE 3

défaut	classe				
	part	bull	invr	inho	grpr
1	0.0	0.0	0.5	0.5	0.899
2	0.0	0.0	0.5	0.5	0.991
3	0.833	0.5	0.5	0.5	0.12
4	0.25	0.3	0.5	1.0	0.37
5	0.266	0.466	0.5	0.5	0.519

Key:

défaut=defect

classe=class

A comparison between the probabilities assigned by the automatic classification and those given by the user after manual inspection has revealed a good general coincidence:

TABLE 4

déf.	opérateur	classification automatique			
		classe	probabilité	classe	probab.
1	grpr	grpr	0.899		
2	grpr	grpr	0.991		
3	part	part	0.833		
4	inho	inho	1.0		
5	invr	grpr	0.519	inho	0.5

Key:

déf.=defect

opérateur=operator

classe=class

classification automatique=automatic classification

probabilité=probability

probab.=probability

1. An automatic process for identification of defects in a specific zone of a microcircuit, according to which, successively and in an automatic fashion: an image consisting of a matrix of pixels, each one associated with at least one number representative of a photometric value of the pixel, such as the average brightness or gray level, is formed from a specific area to be verified; the photometric values of the pixels of the zone are compared with the respective reference values for detecting the anomalies; several predetermined parameters at least representative of the spatial extent, the shape, and photometric appearance of the anomaly are calculated automatically; after having defined several classes of defects in the course of an initial phase, each by a set of weighting factors, several weighted sums of said representative factors are calculated, for all of the sets of weighting coefficients; and the defect is assigned to the class for which the sum is the highest.

2. The process in accordance with Claim 1, wherein the reference values are determined on zones representative for a given type of surface.

3. The process in accordance with Claim 1 or 2, wherein the photometric parameters include at least one of the following parameters: gray level, dynamics of the image containing the anomaly in the zone of the anomaly, defined as the difference \underline{d} between the maximum value and the minimum value.

4. The process in accordance with Claims, 1, 2, or 3, wherein the weighted sums, each of which represents the probability of an anomaly a belonging to a class c, are of the form:

$$P(a, c) = \frac{1}{N} * \sum_i \frac{A(i, c) * Ptr(a, i)}{A(i, c)} \quad (1)$$

where:

/16

A (i, c) is the weighting factor for the analysis criterion i and the class c,

Ptr is the characteristic value of the criterion i for the anomaly a, that is the value that the criterion i has in the zone of the anomaly,

N is a normalization factor equal to the number of criteria considered for the possible assignment to the class c.

FIG.1.

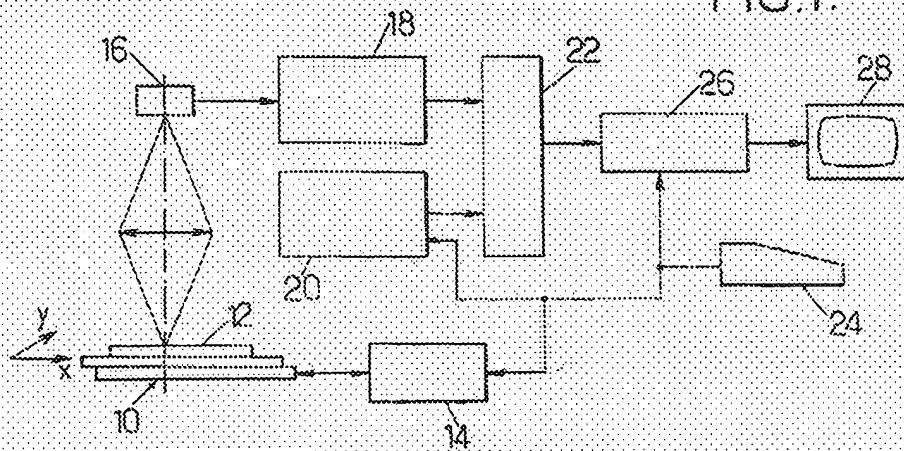


FIG.2.

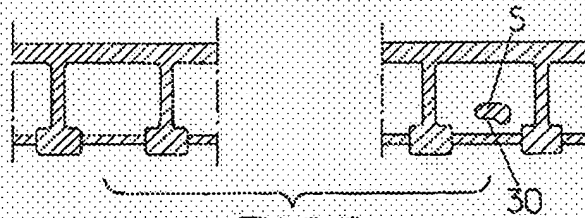


FIG.3.

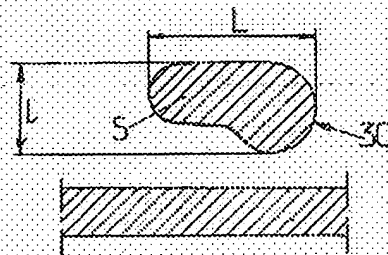
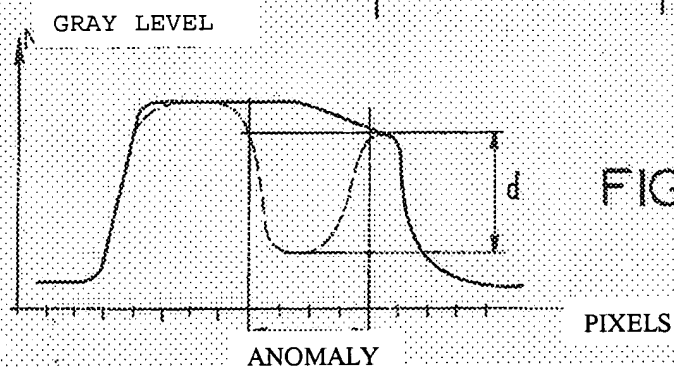


FIG.4.



①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①⑪ N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 681 947

②① N° d'enregistrement national :

91 12052

⑤① Int Cl⁸ : G 01 R 31/308

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 01.10.91.

③⑦ Priorité :

④③ Date de la mise à disposition du public de la
demande : 02.04.93 Bulletin 93/13.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche : *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : MICRO-CONTROLE Société
anonyme — FR.

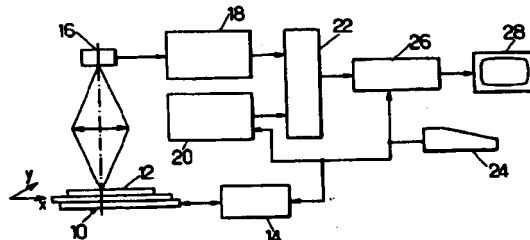
⑦② Inventeur(s) : Cassino Jean et Oteski Maciej.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire : Cabinet Plasseraud.

⑤④ Procédé de classification automatique de défauts sur des micro-circuits.

⑤⑦ Le procédé permet l'identification automatique de défauts dans une zone déterminée d'un micro-circuit. Pour cela on forme, d'une zone déterminée à vérifier, une image constituée d'une matrice de pixels affectés chacun d'au moins un nombre représentatif d'une valeur photométrique du pixel, telle que la brillance moyenne ou niveau de gris; on compare les paramètres photométriques des pixels de la zone avec des valeurs de référence respectives pour détecter les anomalies; on calcule automatiquement plusieurs paramètres prédéterminés représentatifs au moins de l'étendue spatiale, de la forme et de l'aspect photométrique de l'anomalie; après avoir, au cours d'une phase initiale, défini plusieurs classes de défauts, chacune par un jeu de coefficients de pondération, on calcule plusieurs sommes pondérées desdits paramètres représentatifs, pour tous les jeux de coefficients de pondération; et on affecte le défaut à la classe pour laquelle la somme est la plus élevée.



FR 2 681 947 - A1



PROCEDE DE CLASSIFICATION AUTOMATIQUE DE DEFAUTS SUR DES
MICRO-CIRCUITS

5

La présente invention concerne de façon générale l'inspection des micro-circuits, dans un état final ou intermédiaire de fabrication, en vue d'identifier les défauts répétitifs ou accidentels par comparaison entre des zones
10 du micro-circuit et soit des zones correspondantes d'un micro-circuit exempt de défaut et qui devrait en principe lui être identique, soit avec des indications mémorisées sous forme numérique.

On connaît déjà de nombreux procédés et dispositifs
15 d'inspection de micro-circuits. On pourra notamment se reporter, pour avoir la description d'un dispositif qu'on peut considérer comme représentatif, au brevet US 4 559 603 (Tokyo Shibaura Denki KK). Un tel dispositif comporte, en règle générale, une table permettant de fixer avec une
20 grande précision la position du micro-circuit par rapport à une optique de formation d'image et de mesurer les déplacements du micro-circuit dans son plan. L'optique est associée à une caméra matricielle fournissant l'image d'une zone du micro-circuit sous forme d'une matrice de pixels.
25 Enfin le signal de sortie de la caméra est soit exploité en lignes par un processeur, soit mémorisé pour traitements hors lignes, soit transféré à distance par un réseau de communication. Les micro-circuits étant très sensibles à la pollution, le dispositif est en règle générale muni d'un
30 système robotique évitant toute intervention manuelle.

A titre de dispositif capable d'effectuer toutes les opérations ci-dessus, on peut notamment citer la machine vendue sous le nom "ALARM" par la société demanderesse, dont les caractéristiques optiques et mécaniques essentielles sont données dans le document WO 90/06 489 (correspondant à la demande FR 88/15 902) auquel on pourra se reporter.

Ce document décrit notamment des moyens de traitement du signal fournis par une caméra permettant de déterminer la largeur d'une ligne de micro-circuit ayant une dimension submicronique et le degré de recouvrement entre
5 deux couches, ayant le même ordre de grandeur.

Il est important, pour réduire le taux des rebuts, d'aller au-delà de la simple détection des défauts et d'identifier la nature de ces défauts, ce qui permet de déceler également leur origine et de réagir sur le procédé
10 de fabrication. On a déjà proposé des procédés d'inspection de circuits avec classification automatique des défauts. Généralement la classification s'effectue par un arbre de décision, chaque décision s'effectuant en logique binaire. On trouvera une description d'un tel procédé dans l'article
15 de Dralla et autres "Automatic Classification of defects in Semi-conductor devices", SPIE, Vol. 1261, (1990) pp173-182. Malheureusement cette approche est peu fiable et conduit à un taux d'erreurs élevé ou à une absence d'affectation à une classe de nombreuses anomalies de l'image.

20 La présente invention vise à fournir un procédé et un dispositif d'identification automatique de défauts de micro-circuits, par classification, répondant mieux que ceux antérieurement connus aux exigences de la pratique, notamment en ce qu'ils permettent une meilleure discrimi-
25 nation.

Dans ce but, l'invention propose notamment un procédé d'identification automatique de défauts dans une zone déterminée d'un micro-circuit suivant lequel, successivement et de façon automatique : on forme, d'une zone
30 déterminée à vérifier, une image constituée d'une matrice de pixels affectés chacun d'au moins un nombre représentatif d'une valeur photométrique du pixel, telle que la brillance moyenne ou niveau de gris ; on compare les paramètres photométriques des pixels de la zone avec des valeurs de référence
35 respectives pour détecter les anomalies ; on calcule

automatiquement plusieurs paramètres prédéterminés représentatifs au moins de l'étendue spatiale, de la forme et de l'aspect photométrique de l'anomalie ; après avoir, au cours d'une phase initiale, défini plusieurs classes de défauts, chacune par un jeu de coefficients de pondération, on calcule plusieurs sommes pondérées desdits paramètres représentatifs, pour tous les jeux de coefficients de pondération ; et on affecte le défaut à la classe pour laquelle la somme est la plus élevée.

10 On utilise ainsi une logique de classification qu'on peut qualifier de douce ou de non-classique, par opposition à la décision dure que donne une logique binaire classique.

On voit que la mise en oeuvre du procédé implique dans la pratique une phase préliminaire d'apprentissage, puis une phase d'inspection et d'identification de défauts.

La phase préliminaire constitue un apprentissage : l'utilisateur du procédé va définir la tâche à effectuer par indication de zones à inspecter sur le micro-circuit, de zones de référence et de la méthode de traitement à utiliser. L'utilisateur mémorisera également les types de défauts à identifier et donnera les coefficients de pondération correspondants, certains coefficients de pondération pouvant être nuls car certains des paramètres représentatifs calculés ne sont pas appropriés à l'identification de certains défauts.

L'invention propose également un dispositif permettant de mettre en oeuvre le procédé ci-dessus défini, comprenant, en plus de sous-ensembles mécanique et opto-électronique qui peuvent être du genre décrit dans le document WO 90/06 489, un processeur permettant de déterminer les paramètres représentatifs, de calculer les sommes pondérées et de les comparer entre elles.

Comme tous les procédés d'identification par classification, celui qui est décrit ci-dessus utilise un calcul de probabilités ne donnant pas de certitude absolue.

Pour éviter des affectations erronées, on peut vérifier que la somme pondérée la plus élevée est supérieure à une valeur minimale prédéterminée. Si la somme est trop faible, le défaut peut être considéré comme non identifié. Par
5 ailleurs, plusieurs sommes pondérées peuvent avoir des valeurs très proches et la sélection de la classe définitive parmi plusieurs peut alors être faite par l'utilisateur.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit d'un mode particulier de réalisation
10 de l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif. La description se réfère aux dessins qui l'accompagnent, dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma de principe montrant les constituants principaux d'un dispositif permettant de
15 mettre en oeuvre l'invention ;

- la figure 2 montre deux zones correspondantes d'un micro-circuit de référence (à gauche) et d'un micro-circuit à contrôler (à droite) ;

- la figure 3 montre, à grande échelle, une représentation d'un défaut, destinée à montrer des exemples de
20 paramètres représentatifs ; et

- la figure 4 montre un exemple de variation de niveau de gris le long d'une ligne de pixels traversant un défaut sombre sur fond clair (ligne en tirets) comparée à
25 la variation en cas d'absence de défaut (courbe en trait plein).

Le dispositif dont la constitution de principe est montré en figure 1 peut être regardé comme comprenant un mécanisme
30 de déplacement d'une tranche de semi-conducteur 12 portant des micro-circuits suivant deux directions orthogonales x et y. A ce mécanisme, qui peut être constitué par une table à mouvements croisés, est associé un module de déplacement suivant les directions x et y et de mesure de position.

35 Un système opto-électronique permet de former, sur un détecteur matriciel 16 qui peut être une caméra CCD,

l'image d'une zone à inspecter d'un micro-circuit porté par la tranche 12. Ce détecteur matriciel est associé à des moyens de numérisation et de mémorisation, permettant de représenter chaque pixel de l'image de la zone par au moins
5 une valeur photométrique, telle que la réflectivité. Il est souvent préférable de mesurer la valeur photométrique pour plusieurs lumières de longueur d'onde différente, ce qui permet de caractériser également les anomalies éventuelles du point de vue spectral.

10 Dans le cas illustré sur la figure 1, les caractéristiques de la même zone sur un micro-circuit exempt de défaut sont stockées dans une mémoire 20. Un processeur 22 permet, par comparaison entre les caractéristiques de pixels correspondants, de déterminer les anomalies éven-
15 tuelles. Les caractéristiques idéales peuvent être introduites dans la mémoire 20 par exemple à l'aide d'une entrée informatique banalisée (clavier 24 par exemple) ou par des mesures préliminaires effectuées sur un micro-circuit dépourvu de défaut. Enfin, un processeur 26 permet de
20 calculer des paramètres représentatifs de l'étendue spatiale (longueur L et largeur l, surface S), de la forme, de l'aspect photométrique et éventuellement d'autres caractéristiques de chaque anomalie 30 relevée par comparaison, puis d'affecter les anomalies à des classes de
25 défaut, et de les mémoriser dans un fichier et/ou de les afficher, par exemple sur un moniteur 28 qui peut également être utilisé pour fournir une image de la zone observée.

Avant de décrire en détail un procédé conforme à l'invention, on définira un certain nombre des termes qui
30 seront utilisés par la suite.

On désignera par :

- niveau de gris, la valeur photométrique, telle que la brillance ou la réflectance moyenne, d'un pixel de l'image numérisée et mémorisée en 18 ;
- 35 - dynamique d de l'image dans une zone ou un défaut, la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale du niveau de gris des pixels de cette zone ou du défaut ;

En général, il faut au surplus définir préalablement les zones dans lesquelles sont susceptibles de se trouver des défauts et la zone correspondante de référence, ou zone modèle.

Les zones à inspecter sont indiquées par l'utilisateur au début d'une phase d'apprentissage dont il sera fait mention plus loin. Lors de l'inspection d'un micro-circuit, un processus préalable d'alignement, du genre déjà décrit
5 dans les documents mentionnés plus haut, permet de faire correspondre chaque zone à vérifier du micro-circuit courant à la zone de référence appropriée. De plus, l'utilisateur peut indiquer des zones d'un micro-circuit de référence représentatives pour un type de surface donné (substrat,
10 oxyde, nitrure, métallisation, etc...). Le niveau de gris moyen dans ces zones est mesuré de façon à constituer une référence. En effet la réflectivité et d'autres caractéristiques peuvent changer d'un micro-circuit à un autre et il est utile d'effectuer une mesure comparative permettant
15 d'effectuer une correction sur les valeurs photométriques brutes des pixels, permettant une comparaison fiable entre pixels de l'image du micro-circuit à inspecter et l'image du micro-circuit de référence.

Les données de description d'un circuit portent,
20 comme déjà indiqué, sur son aspect géométrique et sur son aspect photométrique.

Les données concernant son aspect géométrique peuvent notamment être la position de l'anomalie dans l'image, qui donne une première indication sur la nature des défauts
25 susceptibles d'être rencontrés, la longueur L et la largeur l du défaut, la surface S du défaut : toutes ces données peuvent être obtenues par comparaison et comptage, c'est-à-dire par un pré-traitement.

Les données de nature photométrique peuvent notamment
30 être les suivantes.

- Le niveau de gris du pixel de l'image modèle et celui de l'image comportant le défaut, dans la zone de l'anomalie où la différence de valeur photométrique entre l'image contenant l'anomalie et l'image de référence est la
35 plus grande.

- La dynamique de l'image contenant l'anomalie dans

la zone de l'anomalie, définie comme la différence d entre la valeur maximale et la valeur minimale (figure 4) et celle de l'image modèle.

Ces données peuvent être collectées pour une ou
5 plusieurs longueurs d'onde, dont les valeurs constituent également des données caractéristiques.

Une fois l'inspection d'une zone achevée et le pré-
traitement des données de mesure effectué, la probabilité
d'appartenance d'une anomalie donnée à l'une des classes de
10 défaut identifié chacun par un critère d'analyse peut être
calculée.

La probabilité P d'appartenance d'une anomalie a à
une classe de défaut c peut être écrite sous la forme :

$$15 \quad P(a,c) = \frac{1}{N} * \sum_i \frac{A(i,c) * \text{Ptr}(a,i)}{A(i,c)} \quad (1)$$

20 où :

A(i,c) est le facteur de pondération pour le critère d'analyse i et la classe c,

Ptr est l'empreinte du critère i pour l'anomalie a,
c'est-à-dire la valeur qu'a le critère i dans la zone de
25 l'anomalie,

N est un facteur de normalisation égal au nombre de
critères pris en considération pour l'affectation possible
à la classe c.

En effectuant ce même calcul avec tous les jeux de
30 facteurs de pondération, chaque jeu correspondant à une
classe prédéfinie, on obtient des probabilités P d'apparte-
nance de l'anomalie à une classe de défaut. Les probabili-
tés sont ensuite rangées par ordre décroissant. Eventuelle-
ment après vérification que la probabilité la plus élevée
35 dépasse un seuil prédéterminé et que la différence entre
les probabilités calculées et significatives, on affecte
l'anomalie à une classe de défaut.

On décrira maintenant les phases successives du procédé permettant dans la pratique d'arriver à la classification qui vient d'être définie.

La classification implique une première phase d'apprentissage, qui elle-même peut être considérée comme comprenant une phase de préparation au cours de laquelle l'utilisateur définit la tâche à accomplir, qui peut dépendre de la nature du circuit et de l'état d'avancement de sa fabrication et une définition des critères d'identification, puis une phase d'exploitation.

Phase d'apprentissage

Au cours de la phase de définition, l'utilisateur définit les zones à inspecter pour détecter les défauts, destinées à permettre au dispositif de se positionner par rapport au micro-circuit et de relever les paramètres significatifs.

Les informations mémorisées au cours de cette première étape sont par exemples :

- la définition de la tranche par ses caractéristiques géométriques et de tracé et emplacements à inspecter,
- analyses à effectuer, susceptibles d'être différentes suivant la zone (substrat, couche d'oxyde, motif...),
- définition de sites d'alignement éventuels,
- définition des conditions optiques d'inspection et de mesure des facteurs de correction,
- définition de paramètres d'analyse tels que des seuils, un filtrage spatial, etc...

Au cours de la définition des critères d'identification de défaut, l'utilisateur définit la liste des classes de défaut et la correspondance entre ces classes et les critères d'analyse, tels notamment que les facteurs de pondération et les empreintes à prendre en considération.

Au cours de cette seconde partie de l'apprentissage, l'utilisateur peut vérifier la validité des critères qu'il a retenus en essayant la classification qu'il a choisie sur des défauts révélés par une inspection visuelle et affecter en utilisant les critères qu'il a retenus. On peut ainsi, par une série d'essais successifs, trouver le jeu de paramètres qui identifie le mieux une classe de défaut donnée.

10 Phase d'exploitation

Pendant la dernière phase, le dispositif :

- inspecte les zones désignées,
- classe les anomalies trouvées pour les affecter à des classes de défaut en utilisant les connaissances acquises pendant la phase d'apprentissage.

Les deux opérations peuvent être dissociées, la classification étant alors effectuée en différé.

On ne décrira pas ici la façon dont sont effectuées les mesures optiques, étant donné que cette partie du procédé peut être la même que dans des procédés antérieurement connus.

La première opération conforme à l'invention est constituée par une transformation préliminaire des données recueillies, au sens défini plus haut. Ces transformations préliminaires conduisent à l'obtention de paramètres d'identification et de critères d'analyses, tels que définis plus haut.

Le calcul de la probabilité d'appartenance de chaque anomalie à toutes les classes est ensuite effectué. Chaque empreinte P_{tr} est une fonction d'une donnée d'entrée déterminée, obtenue au cours de la transformation préliminaire et de caractéristiques de la classe. On définira plus loin des exemples de fonctions.

Enfin, une fois l'ensemble des empreintes obtenues, on affecte le défaut à la classe pour laquelle la probabilité est la plus élevée.

Pour mieux faire apparaître l'invention, on donnera maintenant un exemple de mise en oeuvre, correspondant à la recherche et l'identification de défauts particuliers sur les micro-circuits portés par une tranche de semi-conducteur.

Une inspection préliminaire effectuée sur des échantillons a permis d'identifier les classes suivantes de défauts, chacune désignée par une abréviation qui sera utilisée de nouveau par la suite.

- Particule (part) - représentant les petites particules déposées sur la plaquette.
- Bulle (bull) - représentant les bulles de substrat.
- Inclusion verticale (invr) - représentant l'inclusion de la matière sur la largeur d'un motif.
- Inclusion horizontale (inho) - représentant l'inclusion de la matière sur la longueur d'un motif.
- Grosse particule (grpr) - représentant les particules de la poussière polluant la plaquette, venant d'être identifiée comme une nouvelle classe de défauts.

Les paramètres principaux retenus pour l'identification sont :

- les paramètres géométriques : largeur du défaut (larX), longueur du défaut (larY), surface du défaut (surf).
- les paramètres photométriques : brillance de l'image avec le défaut dans la zone du défaut (cr51) et dynamique de l'image avec le défaut dans la zone du défaut (cr52).

Une vérification permet de montrer que, dans le cas particulier, envisagé, un défaut du type (grpr) n'a pas d'empreinte pour les critères :

- brillance de l'image modèle dans la zone du défaut (cr53),
- dynamique de l'image modèle dans la zone du défaut (cr5c).

Pour la classification des défauts, on calcule, pour chaque défaut une "empreinte" par la fonction de calcul $pr(x)$ suivante. La fonction a en effet une forme de trapèze. Elle diffère de zéro là où elle est définie ; elle est nulle ailleurs.

A titre d'exemple, on peut adopter les critères suivants pour diverses classes :

TABLEAU 1: "grosse particule"

critère	paramètre du critère			
	binf	cinf	csup	bsup
larX	6	10	200	500
larY	6	10	200	500
surf	30	100	10000	99999
cr51	10	20	50	60
cr52	0	10	20	30

Sur une tranche, cinq anomalies ont été détectées et présentées les caractéristiques suivantes :

TABLEAU 2

anomalie	largeur	longueur	surface	image avec défaut		image sans défaut	
				brill.	dynam.	brill.	dynam.
1	143	76	1555	24	5	51	94
2	19	24	97	31	16	71	58
3	3	3	5	128	6	175	140
4	14	7	3	129	6	176	143
5	18	36	22	151	6	190	150

Le calcul des empreintes a alors donné les résultats suivants pour les cinq anomalies, considérées comme des défauts à classer :

5	défaut #1							
	classe		critère d'analyse					
		larX	larY	surf	cr51	cr52	cr53	cr5c
	part	0.0	0.0	0.0				
	grpr	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5		
	bull			0.0	0.0			
10	défaut #2							
	classe		critère d'analyse					
		larX	larY	surf	cr51	cr52	cr53	cr5c
	part	0.0	0.0	0.0				
	grpr	1.0	1.0	0.957	1.0	1.0		
	bull			0.0	0.0			
15	défaut #3							
	classe		critère d'analyse					
		larX	larY	surf	cr51	cr52	cr53	cr5c
	part	0.0	0.0	0.0				
	grpr	1.0	1.0	0.957	1.0	1.0		
	bull			0.0	0.0			
20	défaut #4							
	classe		critère d'analyse					
		larX	larY	surf	cr51	cr52	cr53	cr5c
	part	0.75	0.75	1.0				
	grpr	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6		
	bull			1.0	0.0			
25	défaut #5							
	classe		critère d'analyse					
		larX	larY	surf	cr51	cr52	cr53	cr5c
	part	0.0	0.0	0.75				
	grpr	1.0	0.25	0.0	0.0	0.6		
	bull			0.6	0.0			
30	défaut #5							
	classe		critère d'analyse					
		larX	larY	surf	cr51	cr52	cr53	cr5c
	part	0.0	0.0	0.8				
	grpr	1.0	1.0	0.0	0.0	0.6		
	bull			0.933	0.0	0.0		
	invr	0.0	1.0					
	inho	1.0	0.0					

L'application de la formule (1) ci-dessus pour les différentes classes donne alors les probabilités P suivantes :

TABLEAU 3

défaut	classe				
	part	bull	invr	inho	grpr
1	0.0	0.0	0.5	0.5	0.899
2	0.0	0.0	0.5	0.5	0.991
3	0.833	0.5	0.5	0.5	0.12
4	0.25	0.3	0.5	1.0	0.37
5	0.266	0.466	0.5	0.5	0.519

Une comparaison entre les probabilités affectées par la classification automatique et celles données par l'utilisateur après inspection manuelle a révélé une bonne coïncidence en générale :

TABLEAU 4

déf.	opérateur	classification automatique			
		classe	probabilité	classe	probab.
1	grpr	grpr	0.899		
2	grpr	grpr	0.991		
3	part	part	0.833		
4	inho	inho	1.0		
5	invr	grpr	0.519	inho	0.5

REVENDECATIONS

1. Procédé d'identification automatique de défauts dans une zone déterminée d'un micro-circuit suivant lequel, successivement et de façon automatique : on forme, d'une zone déterminée à vérifier, une image constituée d'une matrice de pixels affectés chacun d'au moins un nombre représentatif d'une valeur photométrique du pixel, telle que la brillance moyenne ou niveau de gris ; on compare les paramètres photométriques des pixels de la zone avec des valeurs de référence respectives pour détecter les anomalies ; on calcule automatiquement plusieurs paramètres prédéterminés représentatifs au moins de l'étendue spatiale, de la forme et de l'aspect photométrique de l'anomalie ; après avoir, au cours d'une phase initiale, défini plusieurs classes de défauts, chacune par un jeu de coefficients de pondération, on calcule plusieurs sommes pondérées desdits paramètres représentatifs, pour tous les jeux de coefficients de pondération ; et on affecte le défaut à la classe pour laquelle la somme est la plus élevée.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on détermine les valeurs de référence sur des zones représentatives pour un type de surface donné.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les paramètres photométriques comprennent un au moins des paramètres suivants : niveau de gris, dynamique de l'image contenant l'anomalie dans la zone de l'anomalie, définie comme la différence d entre la valeur maximale et la valeur minimale.

4. Procédé selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que les sommes pondérées, qui représentent chacune la probabilité d'appartenance d'une anomalie a à une classe c , sont de la forme :

$$P(a,c) = \frac{1}{N} * \sum_i \frac{A(i,c) * P_{tr}(a,i)}{A(i,c)} \quad (1)$$

où :

$A(i,c)$ est le facteur de pondération pour le critère d'analyse i et la classe c,

P_{tr} est l'empreinte du critère i pour l'anomalie a,
5 c'est-à-dire la valeur qu'a le critère i dans la zone de l'anomalie,

N est un facteur de normalisation égal au nombre de critères pris en considération pour l'affectation possible à la classe c.

FIG.1.

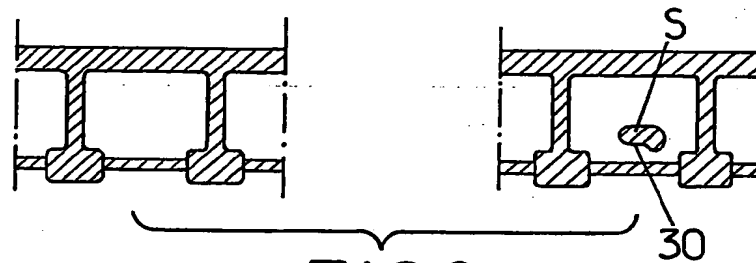
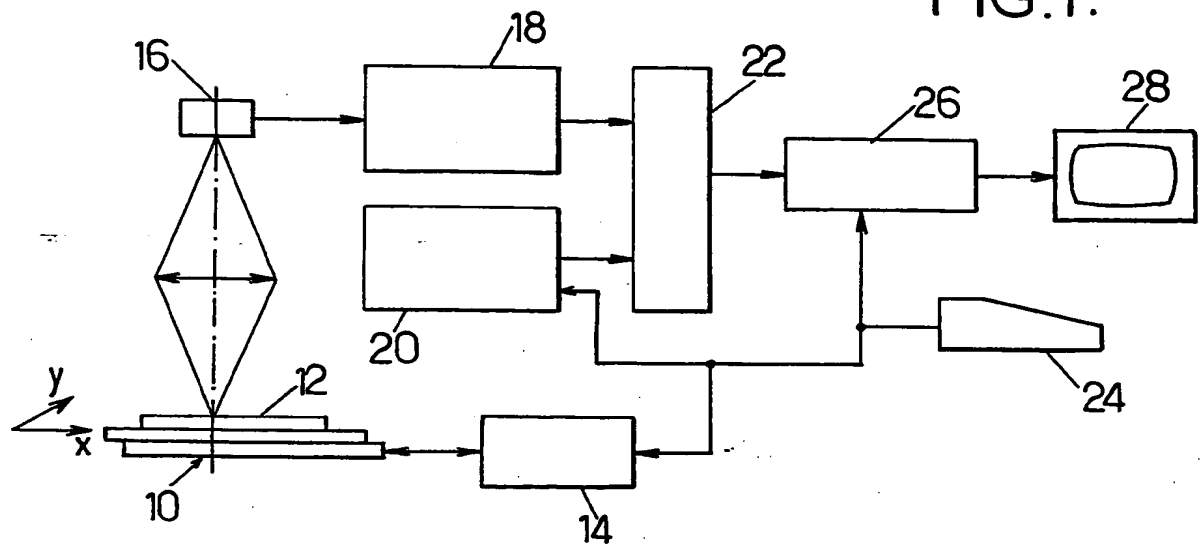


FIG.2.

FIG.3.

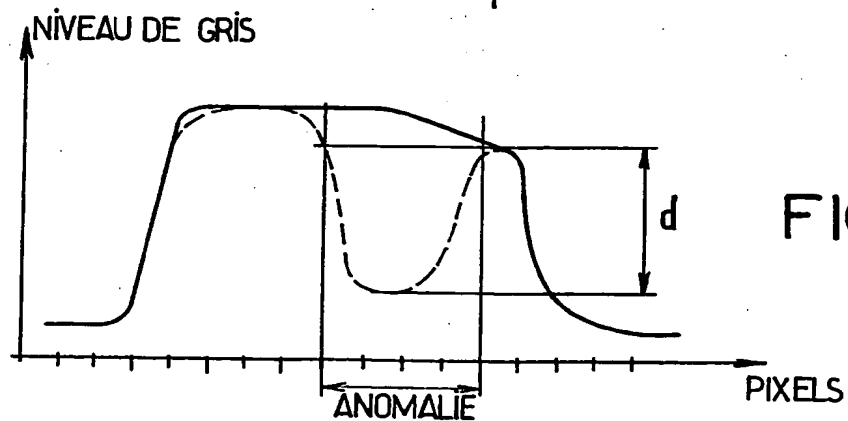
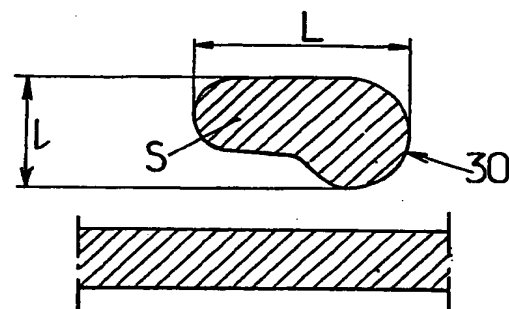


FIG.4.

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FR 9112052
FA 462136

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
D,Y	SPIE, vol. 1261: "Integrated Circuit Metrology, Inspection, and Process Control IV", 1990, pages 173-182, Washington, DC, US; J.R. DRALLA et al.: "Automatic classification of defects in semiconductor devices" * page 174, alinéa 4 - page 176, dernier alinéa *	1-3
Y	IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, vol. 10, no. 1, janvier 1988, pages 31-43, IEEE, New York, US; S.L. BARTLETT et al.: "Automatic solder joint inspection" * Page 34, colonne de gauche, alinéa 2 - page 35, colonne de gauche, alinéa 3 *	1-3
A	IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS AND AUTOMATION, vol. 6, no. 1, février 1990, pages 123-127, New York, US; D.R. SKINNER et al.: "Application of adaptive convolution masking to the automation of visual inspection" * Page 124, colonne de droite, alinéa 5 - page 125, colonne de droite, dernier alinéa - page 127, colonne de gauche, alinéa 2; figures 1-4; tableaux II-V *	1
A	IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTERS, vol. C-26, no. 9, septembre 1977, pages 882-894, IEEE, New York, US; M. YACHIDA et al.: "A versatile machine vision system for complex industrial parts" * Page 888, colonne de gauche, alinéa 2 - page 889, colonne de droite, alinéa 2 *	1
Date d'achèvement de la recherche 19-08-1992		Examinateur SINAPIUS G.H.
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>		

EPO FORM 1503 01.82 (P0415)